УДК 551.5.08

АРХИТЕКТУРА И ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ С ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ

М.А. Сонькин, Е.Е. Слядников

Томский научный центр СО РАН
Томский политехнический университет
E-mail: opi@hq.tsc.ru

Сформулированы принципы построения, предложены архитектура и общая технология функционирования интегрированных информационно-телекоммуникационных систем с пакетной передачей информации по различным каналам связи для труднодоступных объектов. Материал рассмотрен в приложении к средствам доведения данных от платформ сбора данных берегового и морского базирования до центров единой системы обработки метеоинформации.

1. Введение

С развитием информационных технологий в области цифровых методов передачи данных появилась возможность создания информационных территориальных систем, обеспечивающих высокую эффективность, оперативность, надежность и достоверность передачи данных для труднодоступных объектов [1, 2]. Применительно к технической среде и существующей технологии сбора, передачи и обработки гидрометеоинформации, используемых в настоящее время в гидрометеослужбах России и зарубежья, наиболее целесообразным, по нашему мнению, является подход, предполагающий «имплантацию» или «встраивание» пакетных режимов обмена данными по радиоканалу и спутниковым системам связи в действующие телекоммуникационные технологии гидрометеослужб [3, 4]. Такой подход с учетом широкого распространения радиосредств в качестве основных каналов связи при передачи данных от труднодоступных метеостанций (ТДС) в кустовые или региональные центры сбора данных (ЦСД) требует создания технологий комплексного использования различных каналов связи путем интеграции соответствующих аппаратных и программных средств.

Для реализации технологии комплексного использования радиоканала в сочетании с другими каналами связи разработано семейство унифицированных аппаратно-программных терминалов [3, 4], обеспечивающих надежную документированную связь по проводным, спутниковым и радиоканалам. Способность встраиваться в действующую технологию информационного обмена, используемую в гидрометеослужбе, обеспечивает сквозную технологию доставки гидрометеоинформации. Используемые микропроцессорные терминалы имеют возможность стыковки со стандартной аппаратурой, применяющейся для автоматической регистрации метеоданных. Такие аппаратно-программные терминалы стали базовым компонентом для создания автоматизированных рабочих мест оператора ТДС.

Целью настоящей работы является формирование предложений по архитектуре и сквозной технологии функционирования интегрированных информационно-телекоммуникаионных систем с пакетной передачей информации по различным каналам связи для доведения данных от платформ сбора данных (ПСД) берегового и морского базирования до центров единой системы обработки метеоинформации.

По оценкам экспертов и специалистов «ВНИИ гидрометеорологической информации – мировой центр данных» Росгидромета – полных аналогов данной продукции в России и странах СНГ нет, а зарубежные комплексные решения неприемлемы в данной отрасли [5]. Чаще всего в состав современного автоматического информационно-измерительного комплекса (ИИК), осуществляющего измерение параметров окружающей среды, входит контроллер на базе микропроцессора. Разработчики интеллектуальных ИИК, как правило, одновременно решают задачу передачи данных по линиям

(каналам) связи в компьютер, выполняющий функции ЦСД от нескольких ИИК. В некоторых случаях обеспечивается дальнейшее автоматическое распространения принятой информации по сетям потребителей, в т.ч. по сети телесвязи Росгидромета. Существующие ЦСД не в полной мере отвечают требованиям системы сбора и доведения данных до центров единой системы исследования мирового океана (ЕСИМО), так как не решают весь комплекс задач. Поэтому подсистему сбора и накопления первичных данных единой системы обработки метеоинформации целесообразно строить на базе сквозной технологии.

Актуальность создания подобных систем обусловлена крайней необходимостью в совершенствовании существующей технологии сбора первичной гидрометеоинформации в труднодоступных районах (метеостанции, гидропосты), оперативного формирования необходимых форматов гидрометеоданных и своевременной их передаче в контрольные сроки заинтересованным службам и ведомствам, а также в мировую сеть метеоданных. Разрабатываемые в соответствии с этими целями и задачами аппаратные и программные компоненты отличаются от существующих систем технологической новизной и обеспечивают автономный сбор и передачу гидрометеоданных (в специализированных форматах по шаблонам или в произвольной форме) на уровнях метеостанций (гидропостов), локальных центров сбора метеоданных.

2. Технические требования к интегрированным информационно-телекоммуникационным системам сквозной технологии сбора данных

Основная цель построения сквозной технологии – организация автоматизированного сбора информации от обслуживаемых и автоматических ПСД наземного и морского базирования и доведения ее до центров единой системы обработки метеоинформации.

Технология должна обеспечить сбор данных в различных режимах: по инициативе ПСД, по запросу из ЦСД, по запросу из центра единой системы обработки метеоинформации. Технология должна обеспечить возможность управления режимами работы и возможность удаленного тестирования отдельных узлов и компонент ИИК. В рамках сквозной технологии должен осуществляться многоуровневый мониторинг, обеспечивающий полноту и своевременность сбора данных, управление системой связи с объектами.

Подсистема сбора и накопления первичных данных единой системы обработки метеоинформации должна строиться на базе усовершенствованной системы сбора и распространения информации Росгидромета с присоединением к ней систем других ведомств. Сквозная технология сбора данных от ПСД берегового и морского базирования может послужить основой для принятия единых стандартов на протоколы и форматы передачи данных.

Входными данными технологии являются первичные данные гидрометеорологических наблюдений на морских прибрежных станциях/постах Росгидромета, наборы среднесуточных/среднемесячных данных, получаемые:

- от ИИК в автоматическом режиме;
- от станций с применением специального программного обеспечения в автоматизированном режиме.

3. Принципы построения интегрированных информационно-телекоммуникационных систем с пакетной передачей данных по различным каналам связи

В основу проектных решений разрабатываемой системы заложены четыре основных принципа построения распределенной территориальной системы: стратифицированное управление, интеграция различных каналов связи, единое информационное поле, пакетная передача информации.

Стратифицированное управление. Реализация этого принципа позволяет построить техническую структуру и программный комплекс системы таким образом, чтобы их архитектура в максимальной степени соответствовала иерархической организационной структуре средств сбора и доставки гидрометеоинформации.

В условиях многоуровневого комплекса технических средств и специализированного программного обеспечения территориально-распределенных комплексов стратификация управления позволяет осуществить следующее:

- регулирование прохождения информационных потоков как со стороны ТДС, так и с канальной стороны, в соответствии с разработанным алгоритмом работы;
- контроль качества и времени прохождения информации от момента ввода в систему до получения квитанции от ЦСД;
- определение единой структуры, единого (совместимого) программного обеспечения;
- сбор подготовленной на ПСД информации и анализ функционирования системы.

Интеграция различных каналов связи. Техническая реализация принципа основана на использовании пакетных контроллеров ВИП-М, позволяющих передавать информацию по КВ и УКВ-радиоканалам, телефонным и телеграфным линиям, через абонентские терминалы спутниковых систем связи.

Интеграция каналов связи позволяет значительно повысить уровень надежности и гибкости системы в целом, а также ввести новое понятие – *динамический ресурс связи*.

Решение данной проблемы при организации стратифицированного адаптивного управления предусматривает анализ и выбор на каждом этапе функционирования системы допустимого варианта построения многостанционного доступа $A=\{A_j\}$ $(i=\overline{1,k})$.

Каждый вариант оценивается по l показателям качества в результате чего формируется обобщенный вектор эффективности $F^{*}=\{F_j\}$ $(i=\overline{1,l})$.

Показатели эффективности функционирования пакетной радиосети существенно отличаются в зависимости от области применения. Так, например, для систем оперативного назначения (уровень ПСД – ЦСД) основными показателями являются своевременность, достоверность и безопасность доставки пакетов до получателя, для системы общего назначения (уровень ЦСД – центры ЕСИМО) наиболее значимыми являются степень использования общего канала и среднее время задержки при передаче пакетов.

Единое информационное поле. Реализация первых двух принципов обеспечивает, с одной стороны объединение и автоматическую коммутацию всех информационных потоков (независимо от типа канала), а с другой – формирование комплексной базы данных с типовой структурой информационных полей.

Составляющими единого информационного поля в территориально распределенных комплексах с пакетной передачей данных являются:

- единое время, задаваемое ЦСД;
- единый протокол обмена данными удаленных ПСД;
- единый способ формирования адресов ПСД;
- идентичный принцип нумерации сообщений;
- единый алгоритм подготовки к передаче и обработки принятой информации;
- унифицированные базы данных специализированных рабочих мест центра управления и связи.

Пакетная передача информации. Технически реализация этого принципа обеспечивается аппаратно-программными средствами пакетных контроллеров ВИП-М. Протоколы пакетной передачи информации, поддерживаемые этими контроллерами, обеспечивают высокую достоверность передаваемой информации.

Принцип пакетной передачи информации обеспечивает гибкое управление как системой в целом, так и ее элементами. При этом достигаются:

- сочетание централизованного и децентрализованного сбора, обобщения, анализа информации о работоспособности системы и ее элементов;
- гарантированное доведение сообщений путем автоматизированного поэтапного контроля прохождения информации (при необходимости – оперативная переадресация информационных потоков по резервным направлениям или повторная передача информации).

Для проведения структурного анализа, оценки временных характеристик функциональных программных модулей и протоколов передачи данных, оптимизации маршрутов ретрансляции данных по каналам связи необходимы модели территориально-распределенных комплексов. В рассматриваемых прикладных задачах возможно использование графовых моделей. Например, взаимосвязь функциональных задач, возлагаемых на пакетные контроллеры и вычислительный комплекс, целесообразно представить в виде информационной граф-схемы (ИГС). ИГС строится как взвешенный ориентированный граф без петель $G=(X,U)$, каждая вершина $x_i \in X$ $(i=\overline{1,n})$, которого соответствует функциональной задаче, а дуги $u_{ii'} \in U$ $(i=\overline{1,n},\ i'=\overline{1,n},\ i \neq i')$ определяют информационную взаимосвязь задач i и i'. При этом каждая вершина x_i и $u_{ii'}$ дуга характеризуются вектором-весом следующего вида:

$$y_i = \{\tau_i^x, \tau_i^{x^{\copyright}}, \vartheta_i^x, \vartheta_i^{x^{\copyright}}\} \quad (i=\overline{1,n}),$$

$$z_{ii^{\copyright}} = \{\omega_{ii^{\copyright}}^x, \lambda_{ii^{\copyright}}^x\} \quad (i=\overline{1,n}, i'=\overline{1,n}, i \neq i'),$$

где τ_i^x, $\tau_i^{x^{\copyright}}$ – соответственно минимально-ожидаемое и максимально-ожидаемое время выполнения i-ой задачи базовым микропроцессором; ϑ_i^x, $\vartheta_i^{x^{\copyright}}$ – соответственно, объемы оперативной и постоянной памяти, необходимой для программной реализации i-ой задачи; $\omega_{ii^{\copyright}}^x$, $\lambda_{ii^{\copyright}}^x$ – объем передаваемых данных и интенсивность передачи в направлении от задачи i к задаче $i^{\copyright}$, соответственно.

Для отображения структуры сети связи передачи и обработки информации строится топографическая граф-схема, которая представляет собой взвешенный неориентированный граф без петель $E=(Y,U)$, где вершины $y_j \in Y$ соответствуют микропроцессорным пакетным контроллерам и вычислительному комплексу, с которого должны осуществляться прием, передача и обработка результатов функциональных задач, объединенных в ИГС; и дуги $q_{jj'} \in Q$ $(j=\overline{1,m},\ j'=\overline{1,m},\ j \neq j')$ обозначают каналы передачи, которые могут быть реализованы между узлами сети связи. При этом появляется возможность оперативно отображать на модели текущее состояние качества связи между отдельными узлами радиосети y_j и $y_{j'}$.

Весовыми характеристиками вершин y_j $(j=\overline{1,m})$ выбрано максимальное быстродействие τ_j^y пакетного контроллера и вычислительного комплекса, соответствующие им объем оперативной ϑ_j^y и постоянной памяти $\vartheta_j^{y'}$. Весовыми характеристиками ребер служит пропускная способность радиолинии $\lambda_{jj'}^y$ и расстояние $l_{jj'}$ между узлами сети связи. В свою очередь $\lambda_{jj'}^y$ зависит не только от ширины полосы пропускания, но и от текущего состояния качества связи; определяется текущими координатами узлов сети связи (для подвижных объектов).

Чтобы определить взаимосвязь между составом функциональных задач и узлами сети связи Y, введем понятие функциональной граф-схемы, представленной двудольным графом $H=(Z,R)$. При этом множество ИГС и множество вершин топографической граф-схемы образуют множество $Z=X \cup Y$. Множество ребер $R=\{r_{ij}\}$; $i=\overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$, формируется по следующему правилу: $r_{ij}=1$, если j-му узлу сети связи требуется i-я функциональная

задача и r_{ij}=0, в противном случае. Следовательно, в качестве модели структурных компонент многоуровневой системы пакетной передачи сообщений по каналу связи может использоваться граф общего вида $L=(Z,P)$, где $Z=X\cup Y$ – множество вершин, а $P=U\cup Q\cup R$ – множество ребер.

4. Общая схема технологии

Сформулированные принципы построения интегрированных информационно-телекоммуникационных систем с пакетной передачей данных позволяют перейти к разработке сквозной технологии сбора данных с ТДС.

В процессе разработки этой сквозной технологии проведены исследования технических возможностей существующих на рынке ИИК. Проведена классификация ИИК.

С точки зрения организации сбора данных существуют следующие типы комплексов:

- Обслуживаемые автоматизированные информационно-измерительные комплексы на станциях с персоналом наблюдателей:
  - ИИК с выводом данных на персональный компьютер (ПК). Обмен данными с ЦСД осуществляется с использованием специальных аппаратно-программных средств связи.
  - ИИК с вводом данных в специализированный аппаратно-программный комплекс связи. Обмен данными с ЦСД осуществляется через специализированный аппаратно-программный комплекс связи.
- Автономные автоматические информационно-измерительные комплексы.

Таким образом, в структуру аппаратно-программных комплексов (АПК) системы сбора данных целесообразно включить следующие составляющие:

- ИИК (автоматические или автоматизированные метеостанции (гидропосты));
- ПК (только для обслуживаемых автоматических ИИК на станциях с персоналом наблюдателей);
- Специализированный контроллер передачи данных с коммуникационным оборудованием;
- центр сбора данных, с коммуникационным оборудованием, обеспечивающий многоканальность и режимность сбора данных с низовой сети;
- центр единой системы обработки метеоинформации, например единой системы исследования мирового океана.

Единая структура сквозной технологии сбора данных может состоять из АПК или его компонент (рис. 1):

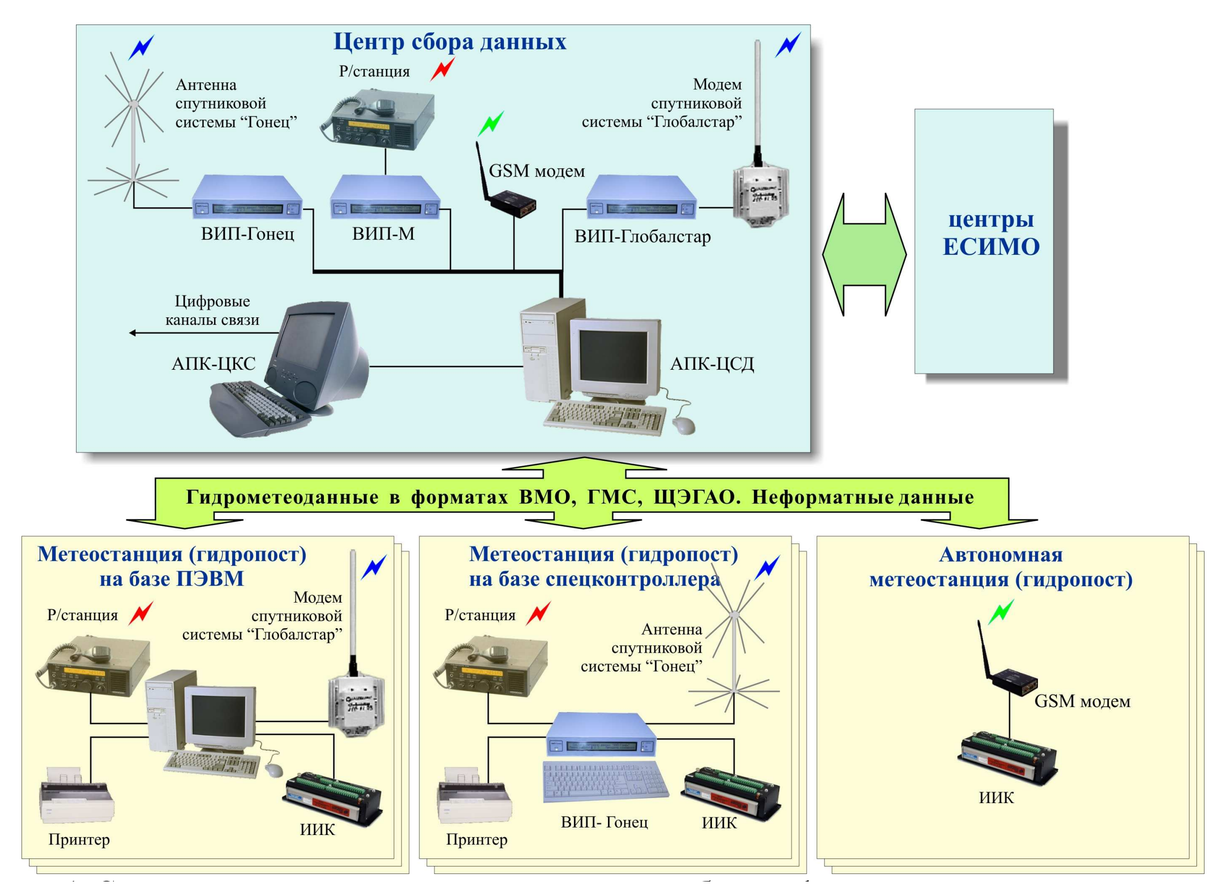


Рис. 1. *Структура компонент сквозной технологии сбора информации*

- гидрометеостанции, в том числе автоматической, на базе специализированного контроллера или ПК.
- ЦСД.

Поскольку в сквозной технологии сбора данных предполагается использование существующих на сети Росгидромета аппаратно-программных комплексов ЦКС и центров ЕСИМО, рассматривать подробно функциональность данных компонент в рамках технологии не будем.

Общая схема функционирования

Технология сбора информации с АПК гидрометеостанции включает следующие основные типы операций:

- сбор информации по запросу из ЦСД;
- обмен информацией по инициативе АПК гидрометеостанции.

Технологические этапы сбора информации представлены на рис. 2.

Сбор информации по запросу из ЦСД включает несколько технологических этапов:

- первичный сбор данных с датчиков контроллером ИИК;
- первичная обработка данных и запоминание данных в памяти ИИК;
- установка соединения ЦСД и специализированного контроллера (ПК) при помощи каналообразующей аппаратуры по расписанию, вручную, по запросу из ЦКС;
- пересылка специализированному контроллеру (ПК) запроса о требуемых данных;
- запрос требуемых данных у ИИК по протоколу MODBAS [6];
- анализ полученных данных, в случае необходимости формирование управляющих команд (например, команды на всплытие);
- формирование данных по запросу специализированным контроллером (ПК);
- пересылка данных в ЦСД;
- прием данных на ЦСД и формирование квитанции о получении данных;
- вторичная обработка полученных данных и верификация;
- формирование управляющих команд (например, команды на всплытие) и передача их на АПК в случае необходимости;
- закрытие канала связи со специализированным контроллером (ПК);
- перекодировку данных и их преобразование в сообщения соответствующего формата, согласно таблицы форматов ИИК (для АПК, не поддерживающих формирование информации, в установленных форматах Росгидромета);
- сохранение полученной информации в базе данных ЦСД;
- пересылка обработанных данных в ЦКС.





Рис. 2. *Технологические этапы сбора информации*

По расписанию, вручную, по запросу из ЦКС на АПК гидрометеостанции может быть передан не только запрос на требуемые данные, но и команды на синхронизацию времени, настройки параметров АПК, а также запрос о его состоянии.

Технология сбора данных по инициативе АПК гидрометеостанции отличается от предыдущей технологии тем, что приказ на установку соединения выдает сам АПК, а также тем, что передаются заранее подготовленные данные.

5. Заключение

На основе принципов построения и предложений по архитектуре и сквозной технологии функционирования интегрированных информационно-телекоммуникаионных систем с пакетной передачей информации по различным каналам связи для доведения данных от ПСД берегового и морского базирования до центров единой системы обработки метеоинформации получены следующие результаты:

- Разработан и согласован стандарт информационно-технологического сопряжения автономных измерительных комплексов с современными сетями сбора и передачи, а именно, протоколы:
  - формата данных, передаваемых от автоматических измерительных комплексов;
  - аппаратного уровня MODBUS сопряжения автоматических измерительных комплексов и АПК-метео;
  - канального уровня ISNAP [6] обмена автоматических измерительных комплексов и ЦСД.
- Разработано программное обеспечение компонент технологии, а именно аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего передачу информации о морской среде от автоматической морской станции и автоматической метеостанции в Центры ЕСИМО по системе спутниковой связи «Глобалстар» и сотовой связи на основе стандартов информационно-технологического сопряжения автономных измерительных комплексов с современными сетями сбора и передачи данных.
- Проведены работы по исследованию простоты использования, надежности работы, полноте и своевременности сбора данных. Проведенные испытания показали, что применение предложенных стандартов, сокращает сроки доставки оперативной и режимной информации от наблюдательной сети, повышает ее достоверность при одновременном снижении совокупных затрат на доставку информации от автоматических ИИК.
- Разработаны принципиальные схемы сопряжения АПК с автоматическими гидрометеостанциями ГМУ-2, Метео-2, Прилив-2, АПС-ЭКО, разработана спецификация команд обмена информацией в рамках протокола MODBUS и откорректированная программа для микропроцессорного блока.
- Разработаны четыре варианта комплектации оборудования, отличающиеся использованием радиоканала, канала спутниковой системы «Гонец», канала спутниковой системы «ГлобалСтар», сотового канала.
- Проведены испытания сквозной технологии доставки данных на рабочих макетах аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего сбор данных от автоматической станции ГМУ-2, от ультразвуковой метеостанции Метео-2, от преобразователя гидростатического давления Прилив-2Д, от автономной позиционной станции АПС-ЭКО. В ходе испытаний отмечено, что компоненты технологии обеспечили сквозной процесс получения и доставки данных от ИИК до центра ЕСИМО с использованием различных (в том числе и спутниковых) каналов связи и автоматизированной системы передачи данных Росгидромета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сонькин М.А. Способ формализованного представления структуры системы передачи информации по радиоканалу // Математическое и программное обеспечение САПР. – Научно-техн. сб. / Под ред. В.З. Ямпольского. – Вып. 1. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – С. 224–231.
2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
3. Сонькин М.А., Ботыгин И.А. Математические модели и задачи проектирования многоуровневых микропроцессорных систем с передачей информации по радиоканалу // Кибернетика и вуз. – Научно-техн. сб. / Под ред. В.З. Ямпольского. – Вып. 29. – Томск: Изд-во ТПУ, 1999. – С. 94–101.
4. Сонькин М.А. Принципы построения интегрированных информационно-телекоммуникационных систем оперативного назначения // Вычислительные технологии. – 2003. – Т. 8. – Специальный выпуск. – С. 148–156.
5. Багдасарова Е.П. Применение современных технологий сбора данных с наблюдательной сети // Метеоспектроскопия. – 2005. – № 2. – С. 89–93.
6. Anderson B.D., Bose N.K. Output feedback stabilization and related problems – solution via decision methods // IEEE Trans. On Automatic Control. – 1975. – V. AC-20 (1). – P. 53–56.